

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ АТМОСФЕРЫ В ЛИДАРАХ И СИСТЕМАХ АКУСТООПТИЧЕСКОЙ ЛОКАЦИИ

Температура является одним из основных метеопараметров. Знание этой величины необходимо для изучения структуры и динамики атмосферы, климата, составления прогнозов. Для систем дистанционного оптического зондирования, лидаров, было разработано и реализовано на практике несколько основных методов измерения профилей температуры. Все они основаны на различных видах рассеяния света.

В первом методе используется резонансное рассеяние на атомах щелочных металлов, в частности, натрия, калия. Облака атомов металлов находятся на высоте 85 – 100 км. Температура измеряется по доплеровскому уширению резонансных линий с помощью зондирования узкополосным подстраиваемым лазером. Несмотря на то, что метод ограничен диапазоном высот, на которых присутствуют атомы металла, рассеянный сигнал оказывается относительно большим, и это дает возможность измерять температуру с точностью до 1.5 К при пространственно-временном разрешении 72 км·с.

Нерезонансный характер рассеяния света на молекулах воздуха позволяет использовать метод рэлеевского рассеяния на высотах не более 90 км. Измерение температуры также основано на измерении доплеровского уширения спектра. Метод требует калибровочного либо предположенного значения температуры на некоторой высоте. Нижняя граница высоты измерения (около 20-30 км) обусловлена присутствием в граничном слое значительного количества аэрозоля, вследствие чего увеличивается рассеяние Ми.

Третий метод основан на вращательном рамановском рассеянии молекулами воздуха. Когда температура увеличивается, интенсивность переходов с большими квантовыми числами возрастает, в то время как интенсивность линий вращательного рамановского спектра, соответствующих маленьким квантовым числам, уменьшается. Температура определяется при использовании измерений в двух областях спектра с различной температурной зависимостью. Интенсивность линий рамановского спектра не велика. Если зондируемый объем находится на высоте 25 км, то мощность спектральных линий составляет порядка 10^{-17} – 10^{-18} от мощности излучаемого света. Максимальная высота зондирования составляет около 20 км, точность <1 К до высоты 10 км при пространственно-временном разрешении 360 км·с. Так как в приемнике линия упругого рассеяния подавляется, то измерения можно проводить и в присутствии значительных концентраций аэрозолей. Более того, измерения температуры с помощью вращательного рамановского рассеяния могут проводиться при дневном свете. Нижняя граница высоты измерения в реализованных системах определялась только высотой полного геометрического перекрытия лазерного луча и поля зрения приемного телескопа.

Следует отметить, что методы не являются взаимозаменяемыми. Из перечисленных методов только последний пригоден для измерений в нижней тропосфере. Однако необходимая аппаратура достаточно сложна и дорогостояща. С целью преодоления этих ограничений в ходе данного исследования был предложен альтернативный метод дистанционного измерения температуры. Он основан на оптическом рассеянии от неоднородностей плотности атмосферы, создаваемых акустической волной.

Модифицируя традиционное уравнение лазерного зондирования, можно показать, что возможно своеобразное оптическое наблюдение за распространением гармонической акустической волны. В этом случае измерение основано на температурной зависимости скорости распространения упругих волн в атмосфере. Измеряя разность фаз гармонической волны на участке известной длины, вычисляют скорость распространения акустической волны. Прежде аналогичная операция выполнялась только контактным измерением мощности звука (обычно на горизонтальной трассе).

Так как величина сигнала определяется амплитудой колебаний плотности среды, то полезный вклад могут давать и аэрозольная и молекулярная составляющие рассеяния. Кроме того, в системе акустооптической локации не требуется узкополосного источника света, который принципиально необходим для адекватных измерений линий вращательного рамановского спектра (так же, как и в остальных лидарных методах). Некогерентный прием позволяет отказаться от схем оптической предобработки сигнала, дающих обычно значительный вклад в сложность настройки и стоимость лидаров. Все это приводит к тому, что значительно упрощается аппаратная часть системы.

Однако при разумных значениях излучаемой акустической мощности амплитуда сигнала оказывается на 4 – 6 порядков меньше постоянной составляющей интенсивности упругого рассеяния. Отношение сигнал/фон можно повысить, используя в приемнике пространственный оптический фильтр. Верхняя граница высоты акустооптического зондирования определяется фактором затухания акустической и оптической энергии, расхождением рассеянного света и поэтому убывает обратно пропорционально кубу дальности. Таким образом, при приемлемых мощностях дальность зондирования не превышает нескольких сотен метров.

В докладе излагаются особенности трех методов измерения температуры в лидарах. Подчеркиваются возможности и ограничения при их работе в реальных системах. Подробно рассмотрено измерение температуры в системе акустооптической локации атмосферы. Отмечаются перспективы последнего метода в дистанционном мониторинге нижней тропосферы.